

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra robototechniky**

**Návrh čtyřkolového podvozku se  
všesměrovými koly**

***The Design of Fourwheel Chassis with  
Omnidirectional Wheels***

Student:

Roman Mazur

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2009

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

Roman Mazur

Adresa:

Sv. Čecha 1075

Nový Bohumín

735 81

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

MAZUR, R. Návrh čtyřkolového podvozku se všesměrovými koly. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 55 s.

Bakalářská práce, Vedoucí Kárník, L.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem čtyřkolového podvozku servisního robotu se všesměrovými koly typu Mecanum. V úvodu je provedena analýza současného stavu. Dále jsou navrženy tři varianty řešení podvozku a výběr optimální varianty. Optimální varianta podvozku se všesměrovými koly je konstrukčně zpracována v systému Pro Engineer. Řešení je doloženo pevnostní analýzou rámu v programu ANSYS Workbench, pevnostními výpočty šroubů držící rám akumulátorů. A dále obsahuje rozměrové výpočty os a funkční výpočet použitých pohonů.

## **ANNOTATION OF THESIS**

MAZUR, R. The design of Fourwheel Chassis with Omnidirectional Wheels. Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, 55 p. Thesis, head: Kárník, L.

Bachelor's thesis deals with the construction design of fourwheel chassis with omnidirectional wheels of type Mecanum. At the beginning of the thesis is made current status analysis. At further part of the thesis there are suggested three variants solution of chassis and the selection an optimal variant. The optimal variant of chassis with omnidirectional wheels is constructional processed in Pro Engineer system. This solution is documented by strength analysis of frame that was made in programm ANSYS Workbench, by strength calculations screws holding the frame accumulators. There are included dimensional calculations of axle and functional calculation of used drives in bachelor's thesis.

## **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za podnětné připomínky a odbornou pomoc při vytváření mé bakalářské práce.

## Obsah bakalářské práce

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
|          | <b>Seznam použitého značení .....</b>      | <b>8</b>  |
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>                          | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>Analýza současného stavu.....</b>       | <b>12</b> |
| 2.1      | Druhy všesměrových kol .....               | 12        |
| 2.1.1    | Kola Stanfordská.....                      | 12        |
| 2.1.2    | Kola Mecanum (Ilon).....                   | 13        |
| 2.2      | První test podvozku s koly Mecanum.....    | 13        |
| 2.3      | Současné čtyřkolové podvozky .....         | 14        |
| 2.3.1    | Mobilní robot z univerzity z Korei .....   | 14        |
| 2.3.2    | Firma Airtrax Inc. ....                    | 15        |
| 2.3.3    | Firma Segway Inc. ....                     | 16        |
| 2.3.4    | Univerzita Západní Austrálie, Pert .....   | 17        |
| 2.4      | Návrh podvozku automobilu .....            | 18        |
| <b>3</b> | <b>Požadavkový list.....</b>               | <b>19</b> |
| <b>4</b> | <b>Navržené varianty.....</b>              | <b>20</b> |
| 4.1      | Varianta A.....                            | 20        |
| 4.2      | Varianta B.....                            | 21        |
| 4.3      | Varianta C.....                            | 22        |
| <b>5</b> | <b>Výběr optimální varianty.....</b>       | <b>23</b> |
| 5.1      | Teoretická část .....                      | 23        |
| 5.2      | Řešení.....                                | 26        |
| <b>6</b> | <b>Optimální varianta .....</b>            | <b>29</b> |
| 6.1      | Popis uložení komponentů.....              | 30        |
| <b>7</b> | <b>Seznam zakoupených komponentů .....</b> | <b>31</b> |
| <b>8</b> | <b>Bezpečnostní pokyny .....</b>           | <b>33</b> |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>9</b>  | <b>Výpočty .....</b>                                     | <b>34</b> |
| 9.1       | Pevnostní analýza ocelového rámu .....                   | 34        |
| 9.2       | Pevnostní výpočet šroubů spojující rám akumulátorů ..... | 35        |
| 9.2.1     | Teoretická část .....                                    | 35        |
| 9.2.2     | Řešení .....   | 37        |
| 9.3       | Rozměrový výpočet os .....                               | 39        |
| 9.3.1     | Teoretická část .....                                    | 39        |
| 9.3.2     | Řešení osy A .....                                       | 40        |
| 9.3.3     | Řešení osy B .....                                       | 41        |
| 9.4       | Výpočet trvanlivosti ložisek .....                       | 42        |
| 9.4.1     | Teoretická část .....                                    | 42        |
| 9.4.2     | Řešení ložisek v ložiskovém domku .....                  | 42        |
| 9.4.3     | Řešení ložisek ve všesměrovém kole .....                 | 43        |
| 9.5       | Funkční výpočet pohonů .....                             | 43        |
| 9.5.1     | Teoretická část .....                                    | 43        |
| 9.5.2     | Řešení .....   | 47        |
| 9.6       | Výpočet teoretické doby provozu .....                    | 50        |
| 9.6.1     | Teoretická část .....                                    | 50        |
| 9.6.2     | Řešení .....   | 51        |
| <b>10</b> | <b>Závěr .....</b>                                       | <b>52</b> |
| <b>11</b> | <b>Seznam použitých pramenů .....</b>                    | <b>53</b> |
| <b>12</b> | <b>Přílohy .....</b>                                     | <b>55</b> |

## Seznam použitého značení

|               |  |                      |
|---------------|--|----------------------|
| $C$           | základní dynamická únosnost                              | [N]                  |
| $D$           | průměr kola  | [m]                  |
| $E$           | ekvivalent dynamického zatěžení ložiska                  | [N]                  |
| $F_H$         | hnací síla   | [N]                  |
| $F_K$         | zatěžující síla působící na jedno kolo                   | [N]                  |
| $F_O$         | síla ve směru osy šroubu                                 | [N]                  |
| $F_P$         | síla potřebná k překonání překážky                       | [N]                  |
| $F_S$         | třecí síla   | [N]                  |
| $F_Z$         | zvedací síla   | [N]                  |
| $H_o$         | součet počtu voleb                                       | [-]                  |
| $H_{ij}$      | hodnota i-tého kritéria j-té varianty                    | [-]                  |
| $I_i$         | proud odebíraný i-tým komponentem                        | [A]                  |
| $I_{ij}$      | index i-tého kritéria j-té varianty                      | [-]                  |
| $I_{iA}$      | index i-tého kritéria varianty A                         | [-]                  |
| $I_{1A}$      | index prvního kritéria varianty A                        | [-]                  |
| $I'_{ij}$     | vážený index i-tého kritéria j-té varianty               | [-]                  |
| $I'_{iA}$     | vážený index i-tého kritéria varianty A                  | [-]                  |
| $I'_{1A}$     | vážený index prvního kritéria varianty A                 | [A]                  |
| $I_K$         | proud odebíraný všemi komponenty                         | [A]                  |
| $I_M$         | proud odebíraný motorem                                  | [A]                  |
| $I_{\dot{R}}$ | proud odebíraný řídící jednotkou                         | [A]                  |
| $K_i$         | i-té kritérium   | [-]                  |
| $L_{Km}$      | základní trvanlivost                                     | [10 <sup>6</sup> km] |
| $M_H$         | hnací moment   | [Nm]                 |
| $M_k$         | krouťící moment  | [Nm]                 |
| $M_{St}$      | startovací moment  | [Nm]                 |
| $O_f$         | valivý odpor   | [N]                  |
| $O_s$         | odpor stoupání   | [N]                  |
| $O_z$         | odpor zrychlení  | [N]                  |
| $P_i$         | elektrický výkon odebíraný i-tým elektrickým komponentem | [W]                  |
| $Ph$          | stoupání závitu  | [-]                  |

|                 |   |                      |
|-----------------|---|----------------------|
| $P_M$           | elektrický výkon odebíraný motorem                                | [W]                  |
| $P_{PC}$        | elektrický výkon odebíraný PC                                     | [W]                  |
| $P_{\check{R}}$ | elektrický výkon odebíraný řídicí jednotkou                       | [W]                  |
| $P_W$           | elektrický výkon odebíraný Wi-Fi kartou                           | [W]                  |
| $R$             | reakční síla  | [N]                  |
| $R_A$           | reakční síla A  | [N]                  |
| $R_B$           | reakční síla B  | [N]                  |
| $Re$            | mez kluzu   | [MPa]                |
| $R_P$           | reakční síla P  | [N]                  |
| $S_A$           | součet vážených indexů varianty A                                 | [-]                  |
| $S_j$           | součet vážených indexů j-té varianty                              | [-]                  |
| $U_i$           | napětí i-tého elektrického komponentu                             | [V]                  |
| $U_A$           | napětí akumulátorů  | [V]                  |
| $U_M$           | napětí motoru   | [V]                  |
| $U_{\check{R}}$ | napětí řídicí jednotky  | [V]                  |
| $W_k$           | průřezový modul v krutu   | [mm <sup>3</sup> ]   |
| $a$             | délka   | [mm]                 |
| $a_r$           | zrychlení   | [m.s <sup>-2</sup> ] |
| $b$             | délka   | [mm]                 |
| $d_o$           | průměr osy  | [mm]                 |
| $d_2$           | střední průměr závitu   | [mm]                 |
| $d_3$           | malý průměr závitu  | [mm]                 |
| $f_k$           | součinitel valivého odporu  | [-]                  |
| $f_z$           | součinitel smykového tření na metrickém závítě                    | [-]                  |
| $g$             | gravitační zrychlení  | [m.s <sup>-2</sup> ] |
| $h$             | výška překážky  | [mm]                 |
| $i_{př}$        | převodový poměr převodovky  | [-]                  |
| $i_n$           | n-tý převodový poměr  | [-]                  |
| $i_o$           | převodový poměr čelních kuželových ozubených kol                  | [-]                  |
| $k_o$           | součinitel bezpečnosti zohledňující další možné zatížení          | [-]                  |
| $k_s$           | součinitel statické bezpečnosti                                   | [-]                  |
| $k_z$           | součinitel bezpečnosti zohledňující další vlivy působící na šroub | [-]                  |
| $m_a$           | hmotnost akumulátoru  | [kg]                 |



|                |   |                      |
|----------------|---|----------------------|
| $m_n$          | maximální hmotnost periférií na jedno kolo          | [kg]                 |
| $m_r$          | hmotnost rámu                                       | [kg]                 |
| $m_p$          | hmotnost mobilního podvozku                         | [kg]                 |
| $n_{Mot}$      | otáčky motoru                                       | [min <sup>-1</sup> ] |
| $n_{př}$       | otáčky převodovky                                   | [min <sup>-1</sup> ] |
| $p$            | mocnitel  | [-]                  |
| $q$            | váha významnosti                                    | [-]                  |
| $r_k$          | poloměr všesměrového kola                           | [m]                  |
| $s$            | počet všesměrových kol                              | [ks]                 |
| $s_a$          | počet akumulátorů                                   | [ks]                 |
| $s_k$          | počet poháněných kol                                | [ks]                 |
| $s_m$          | počet motorů  | [ks]                 |
| $s_p$          | počet voleb   | [-]                  |
| $v$            | rychlost  | [ms <sup>-1</sup> ]  |
| $\alpha$       | úhel profilu závitu                                 | [°]                  |
| $\beta$        | součinitel zohledňující vliv zatím neznámého krutu  | [-]                  |
| $\gamma$       | úhel sklonu nakloněné roviny                        | [°]                  |
| $\delta$       | úhel svírající síly $F_Z$ a $R_p$                   | [°]                  |
| $\eta_n$       | účinnost n-tého převodu                             | [-]                  |
| $\eta_o$       | účinnost čelních kuželových ozubených kol           | [-]                  |
| $\eta_{př}$    | účinnost převodovky                                 | [-]                  |
| $\mathcal{G}$  | součinitel vlivu rotačních částí                    | [-]                  |
| $\sigma_{Do}$  | dovolené napětí v ohybu při souměrném zatížení      | [MPa]                |
| $\sigma_{DCo}$ | dovolené napětí cyklicky souměrným střídavým ohybem | [MPa]                |
| $\sigma_o$     | napětí v ohybu                                      | [MPa]                |
| $\sigma_{red}$ | redukované napětí                                   | [MPa]                |
| $\sigma_t$     | napětí v tahu                                       | [MPa]                |
| $\tau_k$       | napětí v krutu                                      | [MPa]                |

## 1 Úvod

Nejvýznamějším vynálezem lidstva je kolo. Bez něj by v podstatě neexistoval žádný dnešní stroj. Jen se rozhlédněte, kde všude naleznete tento nejvýznamnější vynález. Kola najdeme v mechanismu automobilu a využívají jej i letadla. Někdo by mohl podotknout, že v moderních strojích už kola nejsou, jako třeba v počítačích nebo digitálních hodinách. Ale ruku na srdce, myslíte si, že bychom se dostali k těmto vynálezům, kdybychom předtím neznali kolo?

Na trhu 21. století najdeme několik případů, kdy se člověk snaží spojit vynález všesměrového kola s mobilním robotem. Je už i zaznamenaný případ spojení všesměrového kola s automobilem, ale tento sen je velmi nákladný. Malé množství sestrojených produktů tohoto typu bude prezentováno v této práci.

Nápad, spojení všesměrového kola s podvozkem mobilního robotu je velkým krokem. Neboť mobilní roboty se všesměrovými koly jsou oproti robotům se standartními koly více pohyblivější. Dokáží se otočit na místě a lépe se pohybují v úzkých prostorech. K tomu lze říci, že dokud člověk nesestrojí takovou mechaniku pohyblivých částí robota, která nahradí lidské dolní končetiny, budou mít mobilní roboty se všesměrovými koly budoucnost. Avšak nemůže být všechno dokonalé. Mobilní podvozky se všesměrovými koly mají jedno „ale“. Ještě není možné je aplikovat na velmi členité, nepevněné povrchy, jako je například písčité pláž a mělká rozmočená půda. V tom je jejich velký nedostatek.

Jak se lidé snažili navrhnout dokonalý podvozek mobilního robotu se všesměrovými koly, tak i já se o to pokusím. S výsledkem mého snažení budete seznámeni v této bakalářské práci.

## 2 Analýza současného stavu

### 2.1 Druhy všesměrových kol

Všesměrové kolo zahrnujeme do skupiny tzv. speciálních typů kol. První zmínka o všesměrových kolech se datuje již od roku 592 př.n.l. [1]

V současné době jsou dostupné na trhu dva základní typy všesměrových kol. Jsou to kola Stanfordská a kola Mecanum (Ilon). [1]

Při návrhu podvozku se vždy rozhodujeme podle zvoleného všesměrového kola.

#### 2.1.1 Kola Stanfordská

Na trhu jsou k dostání tři základní varianty Stanfordských kol (obr.2.1).

Konstrukce těchto variant jsou vždy podobné. Valivé elementy, uložené na osách s kluznými nebo valivými ložisky soudečkovitého tvaru, se liší pouze počtem použití dle potřeby. Tato kola se většinou vyrábí z plastu. V případech větších zatížení mohou být vyrobená i z oceli, nebo odlitku. [1]



omniwheel

transwheel

rotacaster

obr. 2.1 [2]

### 2.1.2 Kola Mecanum (Ilon)

Zde jsem uvedl pouze dvě základní varianty tohoto typu (obr.2.3). Ostatní varianty jsou konstrukčně podobné.

Valivé elementy jsou soudečkovitého tvaru uloženy v kluzných nebo valivých ložiskách. Osa valivého elementu svírá s osou náboje většinou úhel  $45^\circ$  nebo úhel dle konstrukce podvozku. [1]



obr. 2.3 [3]

## 2.2 První test podvozku s koly Mecanum

První test v historii čtyřkolového podvozku se všesměrovými koly Ilon je z roku 1976 od švédské společnosti Mecanum AB (obr.2.1). Všesměrová kola použita v tomto testu navrhl švéd Ing. Bengt Ilon. [4]



obr. 2.1

## 2.3 Současné čtyřkolové podvozky

### 2.3.1 Mobilní robot z univerzity z Korei

Robot (obr.2.4, tab.2.1) původem z Korei je navržen pro výzkumné cíle. [5]

Všesměrová kola jsou uložena na pohyblivém podvozku, který dokáže otáčet koly v rozsahu  $\pm 30^\circ$  (obr.2.5). Takto upravený podvozek má výhodu v tom, že se dokáže pohybovat do stran aniž by se musel otočit kolem své osy. [5]

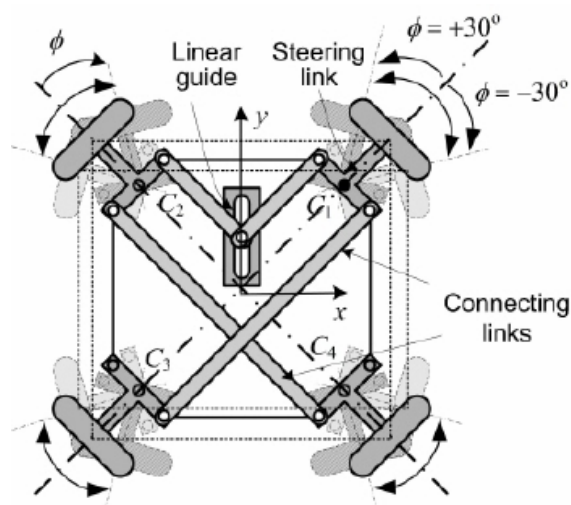
Pro mobilní podvozek byla speciálně navržena všesměrová kola (obr.2.6), vzhledem připomínající variantu Stanfordských kol. [5]

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| nosnost        | 100 kg              |
| použité pohony | 4x 150 W            |
| kommunikace    | Ethernet, Bluetooth |

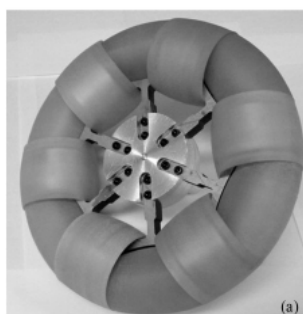
tab.2.1



obr.2.4



obr.2.5



obr.2.6

### 2.3.2 Firma Airtrax Inc.

Americká firma, která se zabývá konstrukcí podvozků s koly Mecanum již od roku 1997, nabízí na trhu tři produkty. Jsou to vysokozdvizné vozíky (obr.2.7, tab.2.2), zvedací plošiny (obr.2.8, tab.2.3) a přepravní vozíky (obr.2.9, tab.2.4). U zvedacích plošin je možnost výběru z více variant, které se odlišují vzájemnými vlastnostmi. [6]



obr.2.7

| SIDEWINDER ATX-3000 |          |
|---------------------|----------|
| maximální rychlost  | 9,7 km/h |
| nosnost             | 1364 kg  |
| délka               | 3378 mm  |
| šířka               | 1194 mm  |
| výška               | 2108 mm  |

tab.2.2

| COBRA ATX-1933           |          |
|--------------------------|----------|
| hmotnost                 | 1383 kg  |
| maximální rychlost       | 4,5 km/h |
| nosnost                  | 226 Kg   |
| maximální pracovní výška | 7,62 m   |
| doba zvednutí            | 22 s     |

tab.2.3



obr.2.8



obr.2.9

| MP2                |         |
|--------------------|---------|
| nosnost            | 2300 kg |
| pracovní doba      | 8 hodin |
| maximální rychlost | 5 km/h  |

tab.2.4

### 2.3.3 Firma Segway Inc.

Tato firma se zabývá sériovou výrobou podvozků pro další aplikace. Mezi jejich rozsáhlou nabídku na trhu patří i dva návrhy mobilních podvozků s koly Mecanum. Jsou to podvozky **RMP 50 Omni** (obr.2.9, tab.2.5) a **RMP 400 Omni** (obr.2.10, tab.2.6). [7]



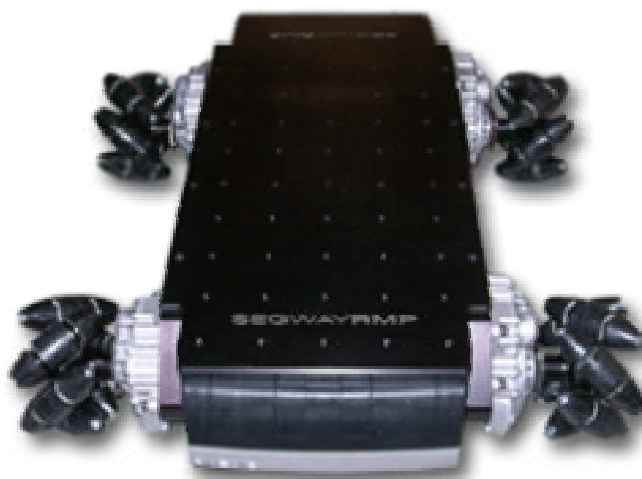
obr.2.9

| RMP 50 Omni  |             |
|--------------|-------------|
| rychlost     | 0-3,2 km/h  |
| dosah        | 4-5 km      |
| hmotnost     | 68 kg       |
| rozměry [mm] | 760x660x230 |
| nosnost      | 68 kg       |

tab.2.5

| RMP 400 Omni |             |
|--------------|-------------|
| rychlost     | 0-11 km/h   |
| dosah        | 6-10 km     |
| hmotnost     | 109 kg      |
| rozměry [mm] | 910x990x280 |
| nosnost      | 181 kg      |

tab.2.6



obr.2.10



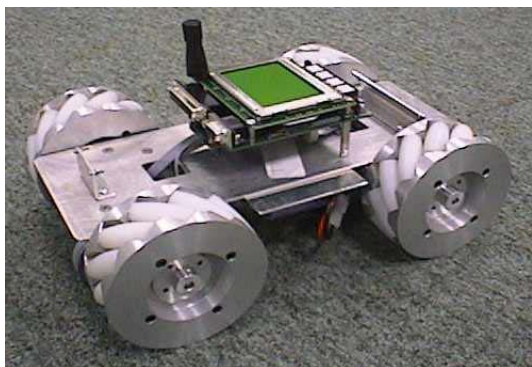
### 2.3.4 Univerzita Západní Austrálie, Pert

Uvádějí tři návrhy mobilních podvozků se všesměrovými koly Mecanum.

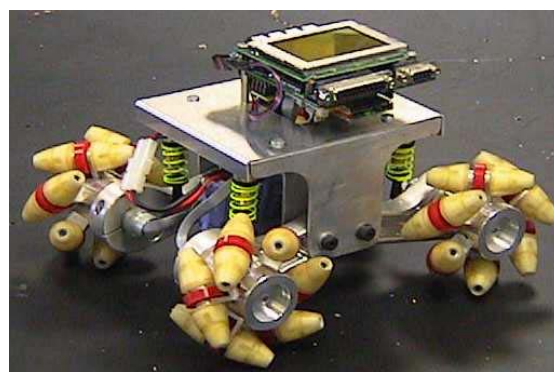
Podvozek robotu **Omni-1** (obr.2.11).

Podvozek robotu **Omni-2** (obr.2.12) podobný verzi Omni-1, s upraveným podvozkem s odpružením pro jemnější průjezd nerovnoměrným terénem. K této variantě byly použity vhodnější varianty všesměrových kol Mecanum.

Jako poslední práci můžeme vidět **Omni-Wheelchair** (obr.2.13). Je to pojízdné křeslo, ve kterém použili variantu všesměrových kol z Omni-1 a systém odpružení z Omni-2. Má nosnost 100 kg a je vhodný především pro přepravu imobilních lidí. [8]



obr.2.11 [8]



obr. 2.12 [8]



obr.2.13



## 2.4 Návrh podvozku automobilu

Designový návrh podvozku automobilu se všesměrovými koly Mecanum.  
(obr.2.14, obr.2.15)

Tento automobil by se snadno otáčel na místě, snadno zaparkoval a jezdil by na sluneční pohon. [9]



obr.2.14



obr.2.15

### 3 Požadavkový list

Na konstrukční návrh jsou kladeny tyto požadavky. (tab.3.1)

| požadavky                     |   |
|-------------------------------|---|
| šířka podvozku                | < 600 mm  |
| zdolání překážky o max. výšce | 50mm  |
| povrch                        | beton, dlažba, asfalt, linoleum                                 |
| nosnost robotu                | ±10 kg  |
| prostředí použití             | pro vnitřní i vnější prostředí s minimální prašností a vlhkostí |
| překonání roviny o sklonu     | 20°   |

tab.3.1

Maximální šířka a délka podvozku se všesměrovými koly nesmí přesáhnout 600mm. Tento požadavek je nutno bezpodmínečně dodržet, aby podvozek mohl projíždět skrz normalizované dveře o šířce 600mm.

Bezpodmínečným požadavkem je překonání překážky ve tvaru schodu o maximální výšce 50mm.

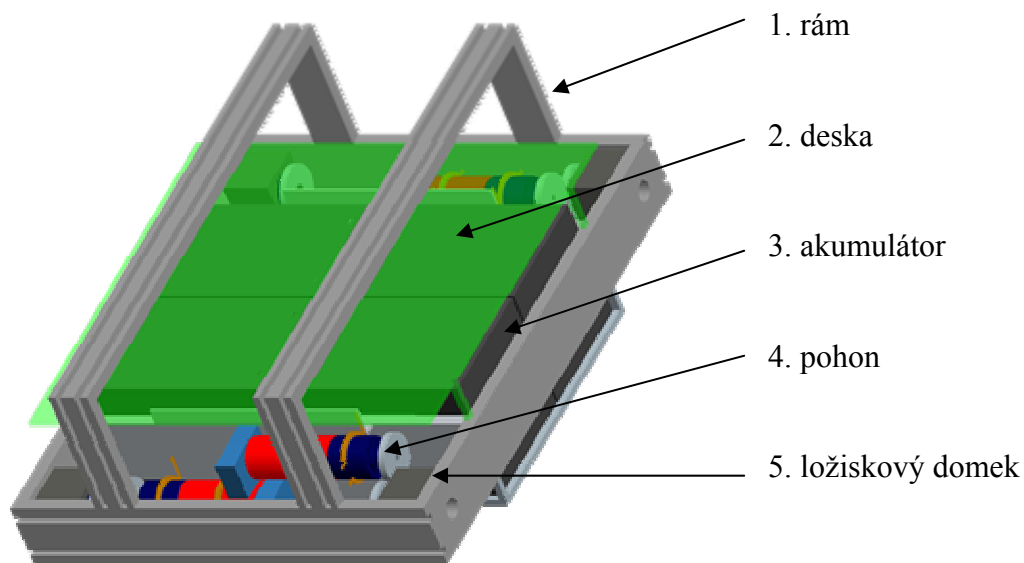
Podvozek bude používán ve vnitřním i venkovním prostředí s minimální prašností a vlhkostí. Kryt mobilního podvozku nemusí být vodotěsný, ani vodě odolný.

Robot by měl překonat nakloněnou rovinu a maximálním sklonu 20°.

## 4 Navržené varianty

### 4.1 Varianta A

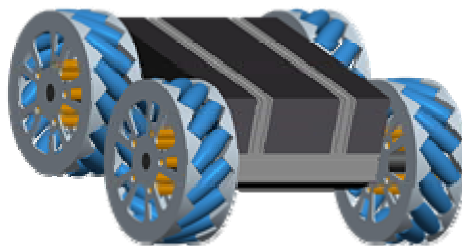
Obrázek sestavy varianty A (obr.4.1). Pohled na návrh celé varianty (obr.4.2).



obr.4.1

1. Rám se skládá z hliníkových profilů a oceli. Hliníkové profily jsou upevněny po vnější straně rámu pro snadnější upevnění periférií. Ocelový rám slouží k uložení akumulátorů.
2. Deska z plastu slouží pro upevnění dalších komponentů použitých v podvozku.
3. Tato varianta je navržena pro čtyři olověné akumulátory značky Shimastu.
4. Čtyři pohony značky Maxon, které jsou složeny z převodovky, motoru a brzdy.
5. Ložiskový domek s nerezovými ložisky s těsněním navržen z pevného plastu.

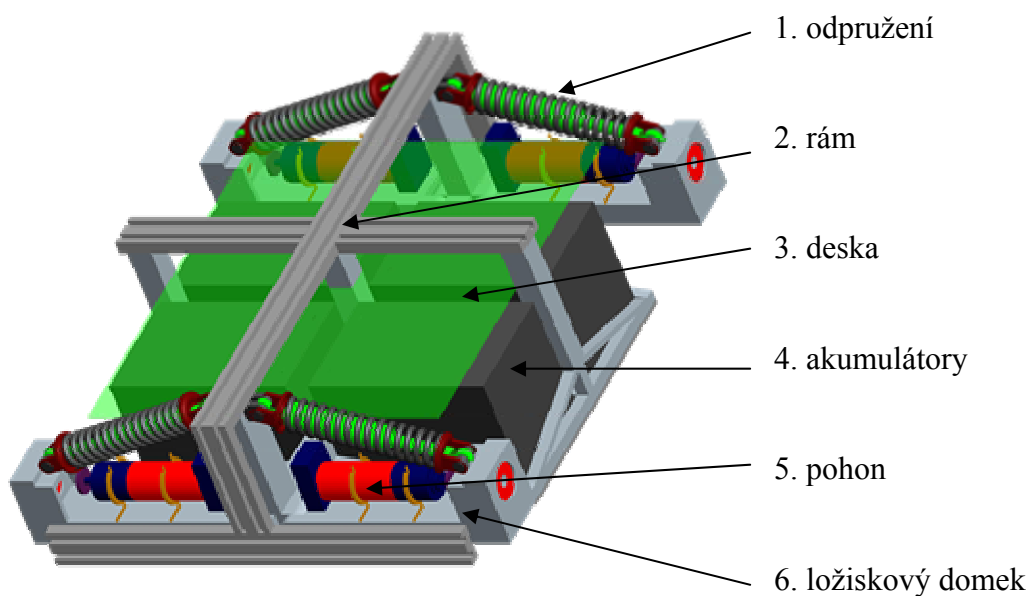
Kroutící moment mezi osou kola Mecanum a hřídelí pohonu bude zajišťovat převod čelních kuželových ozubených kol.



obr.4.2

## 4.2 Varianta B

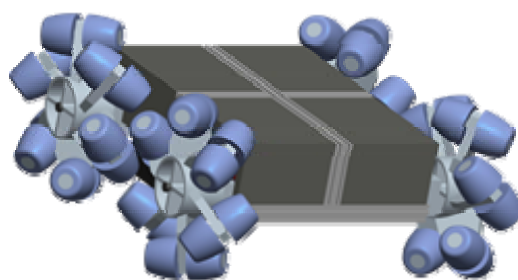
Obrázek sestavy varianty B (obr.4.3). Pohled na návrh celé varianty (obr.4.4)



obr.4.3

1. Pro tuto variantu je navržen systém odpružení kol Mecanum pro hladší překonání nerovného terénu.
2. Rám je složen z hliníkových profilů a oceli.
3. Deska pro uchycení použitých komponentů.
4. Tato varianta je navržena pro čtyři olověné akumulátory značky Shimastu.
5. Čtyři pohony od firmy Maxon, které se skládají z převodovky, motoru a brzdy.
6. Čtyři ložiskové domky vyrobeny z plastu s nerezovými ložisky.

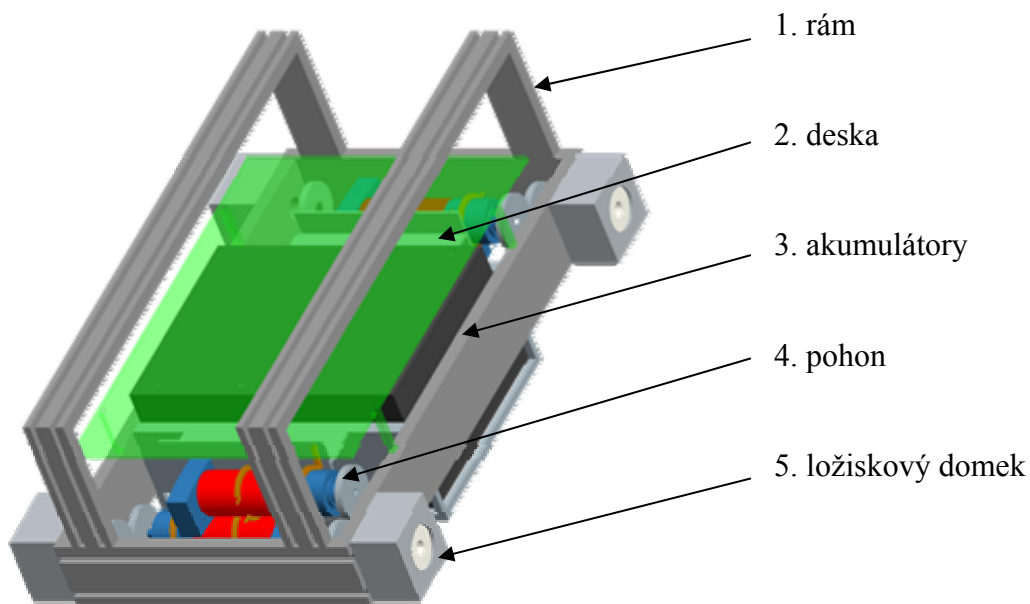
Kroutící moment mezi osou všesměrového kola a pohonem byl zajištěn použitím hřídelové spojky.



obr.4.4

### 4.3 Varianta C

Obrázek sestavy varianty C (obr.4.5). Pohled na návrh celé varianty (obr.4.6)

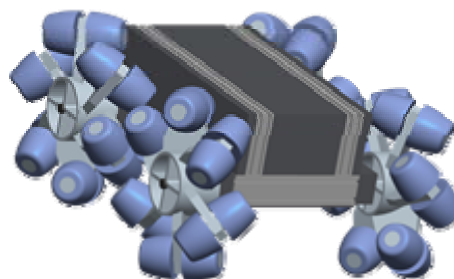


obr.4.5

1. Rám je kombinací hliníkových profilů a oceli.
2. Deska slouží k upevnění dalších komponentů.
3. Tato varianta byla navržena se dvěma olověnými akumulátory značky Shimastu.
4. Stejně použití pohonů jako u předchozích variant.
5. Ložiskové domky byly navrženy z pevného plastu a uloženy na vnější straně rámu.

Kroutící moment mezi osou kola

Mecanum a hřídelí pohonu bude zajišťovat převod čelních kuželových ozubených kol.



obr.4.6

## 5 Výběr optimální varianty

Optimální varianta se stanoví pomocí hodnotové analýzy, která zvyšuje efektivnost technické tvůrčí práce. [10]

### 5.1 Teoretická část

#### *Kritéria hodnocení a jejich významnost*

Kritéria výrobků se pro lepší přehlednost zapíší do tabulky a uvedou se jejich charakteristiky. (tab.5.1)

| číslo kritéria | kritérium      | charakteristika kritéria                     |
|----------------|----------------|--|
| K1             | název kritéria | zde napíšeme charakteristiku daného kritéria |
| K2             | ...            | ...  |

tab.5.1

#### *Bodovací stupnice*

Navržená kritéria (tab.5.1) se budou dále hodnotit podle lineární bodovací stupnice (tab.5.2). [10]

Příklad tabulky pro bodové hodnocení kritérií (tab.5.3).

| bodovací stupnice         | počet bodů |
|---------------------------|------------|
| vysoká úroveň             | 1          |
| dobrá úroveň              | 2          |
| průměrná úroveň           | 3          |
| nízka úroveň              | 4          |
| nevyhovující úroveň       | 5          |
| mimořádně nepříznivý stav | 6          |

tab.5.2

| varianta | číslo kritéria |     |     |
|----------|----------------|-----|-----|
|          | K1             | K2  | K3  |
| A        | počet bodů     | ... | ... |
| B        | počet bodů     | ... | ... |

tab.5.3

**Metoda porovnávání kritérií v trojúhelníku párů**

Do levé části tabulky se zapíší **porovnávané páry kritérií**. (tab.5.4) [10]

| porovnané páry kritérií |    |    |        | počet voleb<br>$s_p$ | pořadí | váha významnosti<br>$q$ |
|-------------------------|----|----|--------|----------------------|--------|-------------------------|
| K1                      | K1 | K1 | K1     | 3                    | ...    | ...                     |
| K2                      | K3 | K4 | K5     |                      |        |                         |
|                         | K2 | K2 | K2     | ...                  | ...    | ...                     |
|                         | K3 | K4 | K5     |                      | ...    | ...                     |
|                         |    | K3 | K3     | ...                  | ...    | ...                     |
|                         |    | K4 | K5     |                      | ...    | ...                     |
|                         |    |    | K4     | ...                  | ...    | ...                     |
|                         |    |    | K5     | ...                  | ...    | ...                     |
|                         |    |    | celkem | ...                  |        |                         |

tab.5.4

Do sloupce **počet voleb** jsou uvedeny počty převládajících kritérií. Pokud se při porovnávání určí obě kritéria stejně významné, dostane se hodnota 0,5. Pokud se určí, že jedno kritérium má vyšší významnost, než druhé, vyjde hodnota 1. V uvedeném příkladu se do sloupce **počet voleb** v prvním řádku vypočítá hodnota  $s_{p1}$  dle vzorce (5.1).

$$s_{p1} = 0,5 + 1 + 1 + 0,5 = \underline{\underline{3}} \quad (5.1)$$

kde  $s_{pi}$  - je počet voleb i-tého kritéria

Ve **sloupci pořadí** se určí pořadové číslo dle hodnoty  $s_p$  uvedené ve sloupci **počet voleb**, kde nejvyšší číslo má pořadové číslo jedna.

**Váha významnosti  $q$**  je určena dle vzorce (5.2). [10]

$$q_i = 0,2 \cdot s_{pi} + 0,8 \quad (5.2)$$

kde  $q_i$  - je váha významnosti i-tého kritéria

### ***Tvorba a hodnocení kritérií***

Pro komplexní hodnocení kritérií jsem zvolil metodu PATTERN, pomocí které určím vypočtené hodnoty. (tab.5.5) [10]

| kritérium              |                  | varianta |     |     |
|------------------------|------------------|----------|-----|-----|
|                        |                  | A        | B   | C   |
| K1                     | hodnota kritéria | ...      | ... | ... |
|                        | index            | ...      | ... | ... |
|                        | vážený index     | ...      | ... | ... |
| součet vážených indexů |                  | ...      | ... | ... |
| výsledné pořadí        |                  | ...      | ... | ... |

tab.5.5

Do řádku **hodnota kritéria** bude uvedena hodnota z tabulky (tab.5.3).

**Index**  $I_{ij}$  bude vypočítán dle níže uvedeného vzorce (5.3). [10]

$$I_{ij} = \frac{H_o}{H_{ij}} \quad (5.3)$$

kde  $H_{ij}$  - hodnota i-tého kritéria j-té varianty

$H_o$  - je celkový součet počtu voleb  $s_p$

**Vážený index**  $I'_{ij}$  bude vypočten dle vzorce (5.4), kde  $q_i$  je váha významnosti uvedená v tabulce (tab.5.4). [10]

$$I'_{ij} = I_{ij} \cdot q_i \quad (5.4)$$

Do řádku **součet vážených indexů**  $S_j$  budou sečteny vážené indexy dané varianty dle vzorce (5.5). A podle něj bude do řádku **pořadí** uvedeno pořadí vzestupně podle nejvyšší hodnoty  $S_j$ . [10]

$$S_j = \sum_{i=1}^n I'_{ij} \quad (5.5)$$



## 5.2 Řešení

Určení kritéria navržených variant. (tab.5.6)

| číslo kritéria | kritérium                   | charakteristika kritéria                        |
|----------------|-----------------------------|---|
| K1             | pevnost rámu                | deformace rámu na nezpevněném povrchu           |
| K2             | doba provozu                | velikost kapacity akumulátorů                   |
| K3             | možnosti uchycení periférií | velikost plochy umožňující upevnění periférií   |
| K4             | složitost konstrukce        | složitost smontovatelnosti a použitých součástí |
| K5             | rozměry                     | velikosti podvozku                              |

tab.5.6

Hodnocení kritérií navržených variant. (tab.5.7)

| varianta | číslo kritéria |    |    |    |    |
|----------|----------------|----|----|----|----|
|          | K1             | K2 | K3 | K4 | K5 |
| A        | 3              | 2  | 2  | 2  | 2  |
| B        | 4              | 2  | 3  | 4  | 3  |
| C        | 3              | 4  | 2  | 2  | 4  |

tab.5.7

Podle metody porovnávání páru jsem vytvořil tabulku (tab.6.8).

| porovnané páry kritérií |    |    |        | počet voleb<br>$s_p$ | pořadí | váha významnosti<br>$q$ |
|-------------------------|----|----|--------|----------------------|--------|-------------------------|
| K1                      | K1 | K1 | K1     | 3                    | 2.     | 1,4                     |
| K2                      | K3 | K4 | K5     |                      |        |                         |
|                         | K2 | K2 | K2     | 3,5                  | 1.     | 1,5                     |
|                         | K3 | K4 | K5     |                      |        |                         |
|                         |    | K3 | K3     | 1                    | 4.     | 1                       |
|                         |    | K4 | K5     |                      |        |                         |
|                         |    |    | K4     | 0                    | 5.     | 0,8                     |
|                         |    |    | K5     | 2,5                  | 3.     | 1,3                     |
|                         |    |    | celkem | 10                   |        |                         |

tab.6.8

Počet voleb jsem vypočítal dle vzorce (5.1) a poté jsem určil pořadí.

$$s_{p1} = 0,5 + 1 + 1 + 0,5 = \underline{\underline{3}}$$

Váhu významnosti jsem vypočítal dle vzorce (5.2).

$$q_1 = 0,2 \cdot s_{p1} + 0,8 = 0,2 \cdot 3 + 0,8 = \underline{\underline{1,4}}$$

Pomocí metody PATTERN jsem provedl komplexní zhodnocení kritérií. (tab.5.9)

| kritérium              |                  | varianta |        |        |
|------------------------|------------------|----------|--------|--------|
|                        |                  | A        | B      | C      |
| K1                     | hodnota kritéria | 3        | 4      | 3      |
|                        | index            | 3,333    | 2,5    | 3,333  |
|                        | vážený index     | 4,667    | 3,5    | 4,667  |
| K2                     | hodnota kritéria | 2        | 2      | 4      |
|                        | index            | 5        | 5      | 2,5    |
|                        | vážený index     | 7,5      | 7,5    | 3,75   |
| K3                     | hodnota kritéria | 2        | 3      | 2      |
|                        | index            | 5        | 3,333  | 5      |
|                        | vážený index     | 5        | 3,333  | 5      |
| K4                     | hodnota kritéria | 2        | 4      | 2      |
|                        | index            | 5        | 0,5    | 5      |
|                        | vážený index     | 4        | 2      | 4      |
| K5                     | hodnota kritéria | 2        | 3      | 4      |
|                        | index            | 5        | 3,333  | 2,5    |
|                        | vážený index     | 6,5      | 4,333  | 3,25   |
| součet vážených indexů |                  | 27,667   | 20,667 | 20,667 |
| výsledné pořadí        |                  | 1.       | 2.-3.  | 2.-3.  |

tab.5.9

Do řádku **hodnota kritérií** jsem uvedl hodnoty již uvedené v tabulce (tab.5.7).

Index jsem vypočítal podle vzorce (5.3).

$$I_{1A} = \frac{H_o}{H_{1A}} = \frac{10}{3} \cong \underline{\underline{3,333}}$$

Vážený index jsem vypočítal podle vzorce (5.4).

$$I'_{1A} = I_{1A} \cdot q_1 = 3,333 \cdot 1,4 \cong \underline{\underline{4,667}}$$

Součet vážených indexů jsem vypočítal podle vzorce (5.5).

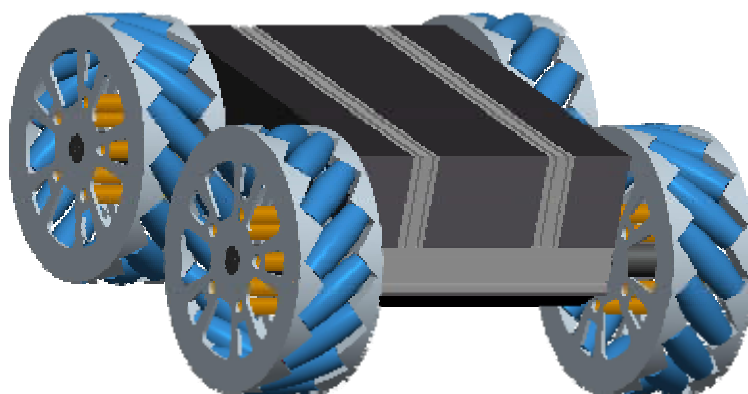
$$S_A = \sum_{i=1}^5 I'_{iA} = 4,667 + 7,5 + 5 + 4 + 6,5 \cong \underline{\underline{27,667}}$$

Tabulka shrnutých výsledků (tab.5.10).

| varianta          | vypočtená hodnota | pořadí    |
|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>varianta A</b> | <b>27,667</b>     | <b>1.</b> |
| varianta B        | 20,667            | 2.        |
| varianta C        | 20,667            | 3.        |

tab.5.10

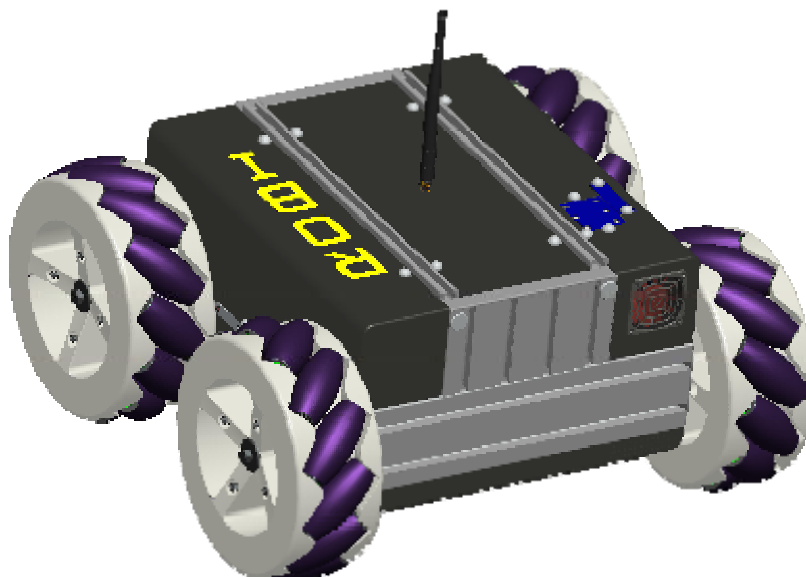
Z vypočítaných hodnot vyplývá, že optimální variantou je **varianta A** (obr.5.1).



obr.5.1

## 6 Optimální varianta

Pohled na podvozek se všesměrovými koly Mecanum. (obr.6.1)



obr.6.1

Tabulka technických dat navrženého mobilního podvozku. (tab.6.1)

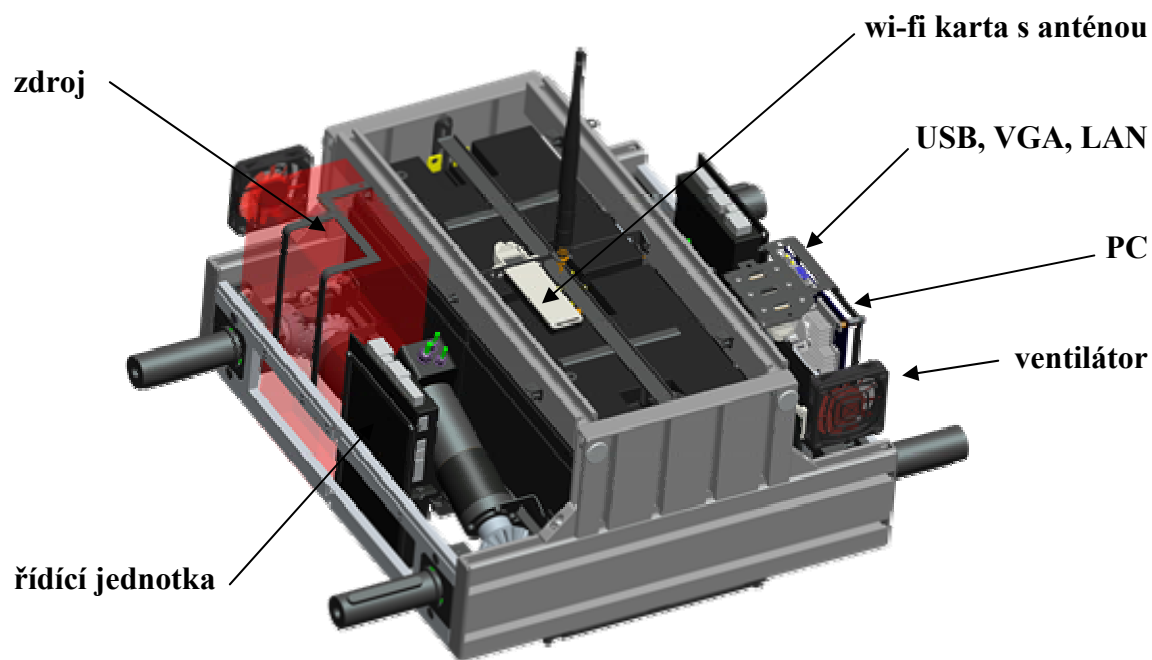
| ROB I                      |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| délka                      | 570 mm                   |
| šířka                      | 560 mm                   |
| výška (bez antény)         | 470 mm (280 mm)          |
| maximální rychlost         | 18 km/h                  |
| dosah komunikace           | 300 m čisté prostranství |
| doba provozu bez periférií | 55 minut                 |
| maximální výška překážky   | 50 mm                    |
| dostupné porty             | 3x USB, 1x LAN, 1x VGA   |
| komunikace                 | Wi-Fi (802.11g)          |
| hmotnost                   | 43 kg                    |
| nosnost                    | 10 kg                    |

tab.6.1

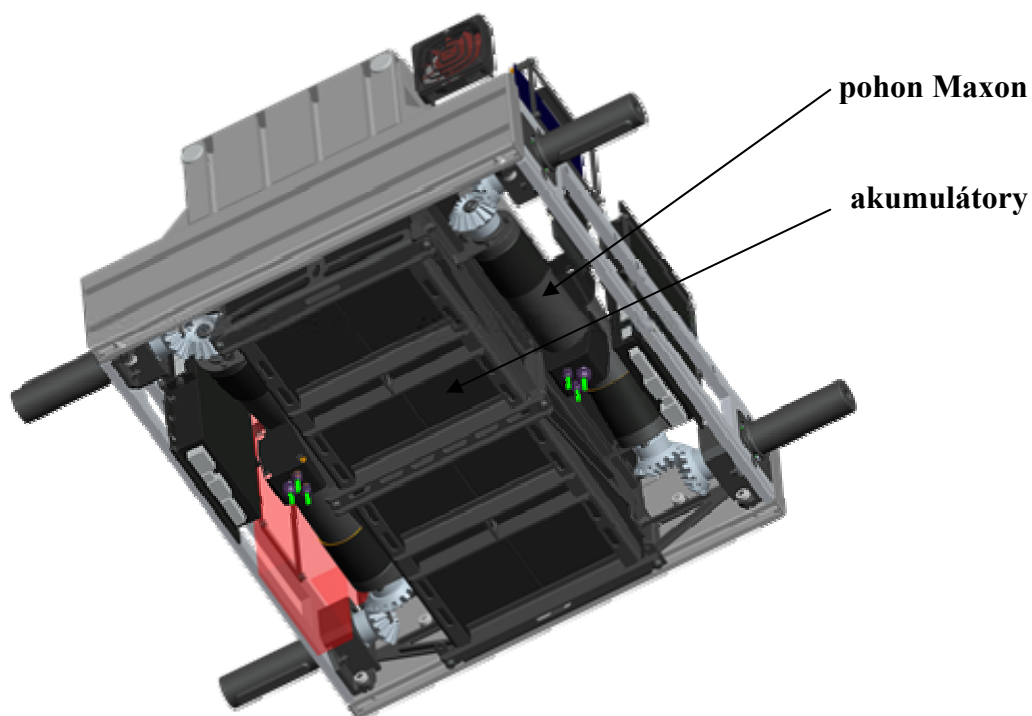
## 6.1 Popis uložení komponentů

Pohled na horní odkrytovanou část podvozku bez všesměrových kol. (obr.6.2)

Pohled na spodní odkrytovanou část podvozku bez všesměrových kol. (obr.6.3)



obr.6.2



obr.6.3

## 7 Seznam zakoupených komponentů

Seznam zakoupených mechanických komponentů. (tab.7.1)

Seznam zakoupených elektronických komponentů. (tab.7.2)

|   |  |                   |                    |
|---|--|-------------------|--------------------|
| <b>firma</b>                                    | ArcelorMittal Tubular Products Karviná a.s. [11] |                   |                    |
| <b>název</b>                                    | <b>kód</b>                                       | <b>počet kusů</b> | <b>rozměry [m]</b> |
| profil otevřený U rovnoramenný                  | 6300680  | 2                 | 0,1                |
| profil otevřený L nerovnoramenný                | 5010310  | 1                 | 0,4                |
| <b>firma</b>                                    | Alutec K&K a.s. [12]                             |                   |                    |
| <b>název</b>                                    | <b>kód</b>                                       | <b>počet kusů</b> | <b>rozměry [m]</b> |
| profil 18,5x90                                  | 101890   | 1                 | 0,75               |
| profil 18,5x180                                 | 101180   | 1                 | 0,2                |
| profil 18,5x32                                  | 101832   | 1                 | 0,76               |
| fixační úhelník                                 | 301225   | 4                 |                    |
| šroub M8x25 DIN 920                             | 200825.1   | 4                 |                    |
| šroub M6x20                                     | 200620   | 8                 |                    |
| šroub M6x16                                     | 200616   | 4                 |                    |
| šroub M5x12                                     | 200512.1   | 8                 |                    |
| matice M6                                       | 210660   | 12                |                    |
| matice s pružinou M5                            | 210652   | 8                 |                    |
| podložka ø13                                    | 210812   | 4                 |                    |
| podložka □13x13                                 | 210813   | 16                |                    |
| záslepka 18,5x90                                | 221890   | 4                 |                    |
| záslepka 18,5x180                               | 221180   | 4                 |                    |
| <b>firma</b>                                    | Plastové součástky s.r.o. [13]                   |                   |                    |
| <b>název</b>                                    | <b>kód</b>                                       | <b>počet kusů</b> | <b>rozměry [m]</b> |
| krycí zátka                                     | 055 0143 000 03                                  | 4                 |                    |
| podložky pod krytky                             | 006 3041 000 01                                  | 24                |                    |
| krytky na podložkách                            | 006 1042 002 01                                  | 24                |                    |
| <b>firma</b>                                    | SKF Group [14]                                   |                   |                    |
| <b>název</b>                                    | <b>kód</b>                                       | <b>počet kusů</b> | <b>rozměry [m]</b> |
| nerezová jednořadá kuličková ložiska s těsněním | W61804-2RS1                                      | 8                 |                    |
| nerezová jednořadá kuličková ložiska s těsněním | W61801-2Z  | 96                |                    |
| <b>firma</b>                                    | T.E.A. TECHNIK s.r.o. [15]                       |                   |                    |
| <b>název</b>                                    | <b>kód</b>                                       | <b>počet kusů</b> | <b>rozměry [m]</b> |
| kuželová kola plastová                          | P251616-16                                       | 8                 |                    |

tab.7.1

|                                |                                  |              |            |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------|------------|
| firma                          | GM Electronic, spol. s.r.o. [16] |              |            |
| název                          |                                  | kód          | počet kusů |
| Pb akumulátor                  |                                  | B-WP 18-12 K | 4          |
| firma                          | MAXON MOTOR AG [17]              |              |            |
| název                          |                                  | kód          | počet kusů |
| převodovka                     |                                  | 203119       | 4          |
| motor                          |                                  | 167177       | 4          |
| brzda                          |                                  | 228386       | 4          |
| řídící jednotka                |                                  | 323232       | 4          |
| firma                          | ALFA COMPUTER CZ, s.r.o. [18]    |              |            |
| název                          |                                  | kód          | počet kusů |
| VIA EPIA PX10000G              |                                  | 12988        | 1          |
| Kingston Compact Flash 4GB     |                                  | 53343        | 1          |
| TP-LINK TL-WN422G              |                                  | 80306        | 1          |
| Ovislink RP-SMA                |                                  | 80291        | 1          |
| ventilátor Airen RedWings 60   |                                  | 16470        | 2          |
| slot 2x USB pro základní desku |                                  | 50021        | 2          |
| firma                          | Akasa Group [19]                 |              |            |
| název                          |                                  | kód          | počet kusů |
| filtr ventilátoru              |                                  | GRM60-30     | 2          |

tab.7.2

## **8 Bezpečnostní pokyny**

Před každým použitím je vhodné zkontrolovat, zda podvozek neutrpěl poškození. Pokud ano, nedoporučuje se jeho použití do odstranění závady.

### ***Použití v prostředí***

Navržený podvozek je vhodný pro vnitřní i vnější prostředí s minimální prašností a vlhkostí.

Podvozek je navržen pro pohyb po linoleu, dřevěné podlaze, dlažbě, betonu a asfaltu. Není vhodný pro pohyb po trávníku a půdě.

### ***Čištění***

Podvozek se z vnější strany čistí dle potřeby jemně navlhčenou měkkou tkaninou minimálně jednou do měsíce.

Vnitřní část podvozku (kromě počítače s komponenty) se čistí dle potřeby suchou měkkou tkaninou. Pro čištění počítače s komponenty použijte suchou antistatickou tkaninu. K čištění se nedoporučují sací přístroje pro nebezpečí zničení elektrických komponentů.

### ***Mazání***

Pro bezproblémový chod podvozku není nutné promazávat mechanické části.

### ***Nabíjení***

Při nabíjení vyjměte akumulátory z podvozku a dobíjejte je přístrojem k tomu určeným.



## 9 Výpočty

### 9.1 Pevnostní analýza ocelového rámu

Pro pevnostní analýzu ocelového rámu (obr.9.1, tab.9.1) jsem použil program ANSYS Workbench v.11.

Největší průhyb je ve střední části rámu akumulátorů, o maximální deformaci 0,034mm. (obr.9.2)

Podrobnější informace v příloze: **Analýza ocelového rámu.**

| ocelový rám |          |
|-------------|----------|
| materiál    | 11 373   |
| hmotnost    | 1,747 kg |
| nosnost     | 23 kg    |

tab.9.1

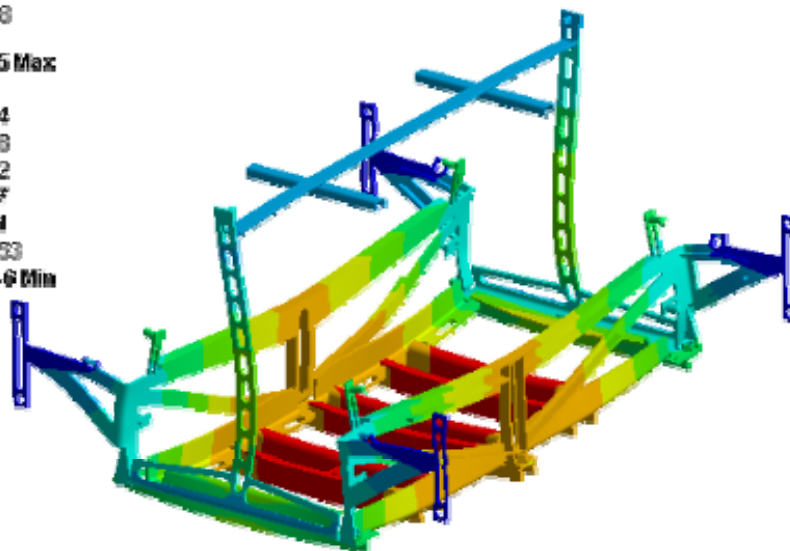


obr.9.1

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
6.5.2009 7:38

ANSYS  
v11

0,034135 Max  
0,028987  
0,026984  
0,021338  
0,017972  
0,012887  
0,008644  
0,0042733  
9,5299e-6 Min



obr.9.2

## 9.2 Pevnostní výpočet šroubů spojující rám akumulátorů

### 9.2.1 Teoretická část

Mechanických vlastností ocelových normalizovaných šroubů (tab.9.2) se dosahuje volbou materiálu a různého způsobu výroby. Tyto vlastnosti jsou udávány v označení **třída pevnosti** podle ISO 898. [20]

|                                     |     |     |     |     |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Třída pevnosti šroubu podle ISO 898 | 3,6 | 4,6 | 5,6 | 8,8 |
| jmenovitá mez kluzu Re [Mpa]        | 180 | 240 | 300 | 640 |
| Zkušební napětí [Mpa]               | 180 | 225 | 380 | 580 |

tab.9.2

V provozu je šroub zatížen různými silami, které rozdělujeme v našem případě na síly od utažení šroubu při montáži a síly působící ve směru osy šroubu.

Síla působící ve směru osy šroubu  $F_o$  je v našem případě váha rámu akumulátorů s akumulátory. (9.1)

$$F_o = (m_a + m_r) \cdot g \cdot k_z \quad (9.1)$$

kde  $m_a$  - je hmotnost akumulátorů

$m_r$  - je hmotnost rámu akumulátorů

$k_z$  - je součinitel bezpečnosti zohledňující další možné vlivy na šroub

Třecí síla vyvozená utahováním šroubu na matici  $F_s$ . (9.2) [20]

$$F_s = F_o \cdot tg \cdot \left( tg^{-1} \left( \frac{fz}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) + tg^{-1} \left( \frac{Ph}{\pi \cdot d_2} \right) \right) \quad (9.2)$$

kde  $fz$  - součinitel smykového tření metrického závitu (tab.9.3) [20]

$Ph$  - stoupání závitu

$d_2$  - střední průměr závitu

$\alpha$  - úhel profilu závitu [20]

| $fz$ [-]  | povrchová úprava šroubu | závity mazány           |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 0,19-0,36 | žádná                   | ne                      |
| 0,16-0,24 | fosfátovaný             | olejem                  |
| 0,12-0,18 | kadmiovaný              | pastou MoS <sub>2</sub> |

tab.9.3

Konstrukční výpočet minimálního průměru šroubu (9.3). [20]

$$\beta \cdot \sigma_t \leq \frac{Re}{k_s} \quad (9.3)$$

kde  $\sigma_t$  - je napětí v tahu (9.4)

$\beta$  - je součinitel zohledňující vliv zatím neznámého krutu

$k_s$  - je součinitel statické bezpečnosti

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_3^2} \quad (9.4)$$

kde  $d_3$  - je malý průměr závitu

Pevnostní kontrola šroubu se provádí podle Guesta (9.5). [20]

$$k_s \leq \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{Re}{\sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2}} \quad (9.5)$$

kde  $\sigma_{red}$  - je redukované napětí

$\tau_k$  - je napětí v krutu podle vzorce (9.6)

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{8 \cdot Fz \cdot d_2}{\pi \cdot d_3^3} \quad (9.6)$$

### 9.2.2 Řešení

Sílu působící v ose šroubu  $F_o$  vypočtu dosazením do vzorce (9.1).

Dáno:  $m_a = 24 \text{ kg}$ ,  $m_r = 1,011 \text{ kg}$ ,  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $k_z = 1,5$

$$F_o = (m_a + m_r) \cdot g \cdot k_z = (24 + 1,011) \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cong \underline{\underline{368 \text{ N}}}$$

Minimální průměr šroubu vypočítám dle vzorce (9.2) a (9.3).

Dáno:  $Re = 180 \text{ MPa}$ ,  $F_o = 368 \text{ N}$ ,  $k_s = 3$ ,  $\beta = 1,3$

$$\frac{Re}{k_s \cdot \beta} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_3^2} \Rightarrow d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_o \cdot k_s \cdot \beta}{\pi \cdot Re}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 368 \cdot 3 \cdot 1,3}{\pi \cdot 180}} \cong \underline{\underline{3,1862 \text{ mm}}}$$

Z vypočítaného malého průměru jsem zvolil závit **M4 x 0,7-6g** podle strojírenských tabulek. [21]

$$d_2 = 3,545 \text{ mm}, d_3 = 3,141 \text{ mm}, Ph = 0,7 \text{ mm}, d_M = 4 \text{ mm}$$

Kontrolu závitů provedu podle vzorce (9.5), dosazením výsledných hodnot ze vzorců (9.4) a (9.6).

Dáno:  $Re=180 \text{ MPa}$ ,  $Fo=368 \text{ N}$ ,  $k_s=3$ ,  $fz=0,36$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $Ph=0,7\text{mm}$ ,  $d_2=3,545\text{mm}$   
 $d_3=3,141\text{mm}$

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot Fo}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 368}{\pi \cdot 3,141^2} \cong \underline{\underline{47,492 \text{ MPa}}} \quad \text{dle vzorce (9.4)}$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot Fo \cdot \text{tg} \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{fz}{\cos(\alpha/2)} \right) + \text{tg}^{-1} \left( \frac{Ph}{\pi \cdot d_2} \right) \right) \cdot \frac{d_2}{2}}{\pi \cdot d_3^3} \quad \text{dle vzorce (9.6)}$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot 368 \cdot \text{tg} \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{0,36}{\cos(30^\circ)} \right) + \text{tg}^{-1} \left( \frac{0,7}{\pi \cdot 3,545} \right) \right) \cdot \frac{3,545}{2}}{\pi \cdot 3,141^3} \cong \underline{\underline{52,677 \text{ MPa}}}$$

$$k_s = \frac{Re}{\sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2}} = \frac{180}{\sqrt{47,492^2 + 4 \cdot 52,677^2}} \cong \underline{\underline{1,704}} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 9.3 Rozměrový výpočet os

### 9.3.1 Teoretická část

**Osa A** z materiálu PA6, která patří mezi tzv. osy otočné, je namáhána cyklicky souměrně střídavým ohybem. Pro návrh průměru osy A je použit vzorec (9.7), který je dále upraven do vztahu (9.9) pro výpočet minimálního průměru osy A. [22]

**Osa B**, z materiálu PA6, patří mezi tzv. osy neotočné, je namáhána ohybovým momentem. Pro návrh minimálního průměru osy B se použije vztah (9.10), který se liší od vztahu (9.9) pouze jinou hodnotou dovoleného napětí v ohybu. [22]

$$\sigma_o \cdot k_o = \frac{32 \cdot F_K \cdot a}{\pi \cdot d_o^3} \cdot k_o \leq \sigma_{Dco} \quad (9.7)$$

kde  $k_o$  - je součinitel bezpečnosti zohledňující další možné zatížení

$F_K$  - zatěžující síla působící na jedno kolo se vypočte podle vzorce (9.8)

$\sigma_{Dco}$  - je dovolené napětí v ohybu při cyklicky souměrně střídavém zatížení [23]

$a$  - délka

$d_o$  - je minimální průměr osy

$$F_K = \left( \frac{m_p}{4} + m_n \right) \cdot g \quad (9.8)$$

$$d_o \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_K \cdot a}{\pi \cdot \sigma_{Dco}}} \cdot k_o \quad (9.9)$$

kde  $m_p$  - je hmotnost mobilního podvozku

$m_n$  - max. hmotnost periférií na jedno kolo

$$d_o \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_K \cdot a}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} \cdot k_o \quad (9.10)$$

kde  $\sigma_{Do}$  - je dovolené napětí v ohybu při souměrném zatížení [23]

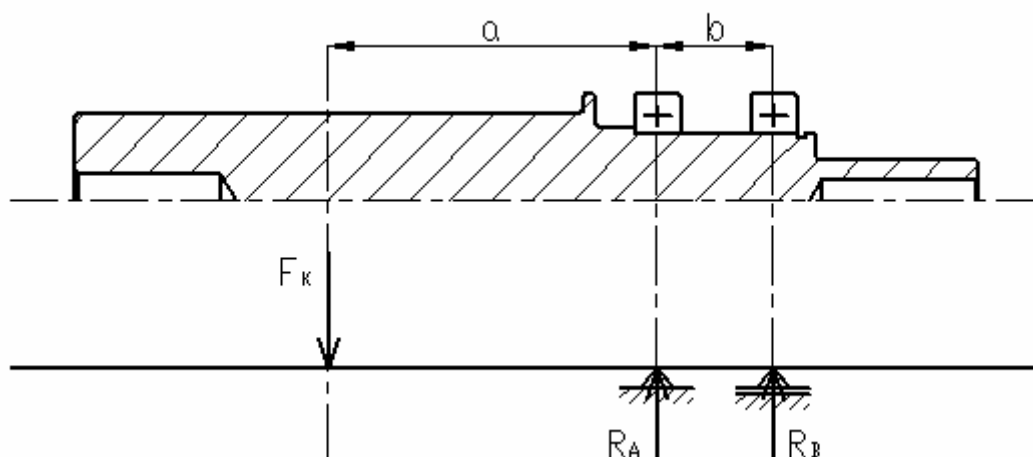
### 9.3.2 Řešení osy A

Zatěžující sílu  $F_K$  vypočítám dle vzorce (9.8).

Dáno:  $m_p = 43 \text{ kg}$ ,  $m_n = 2,5 \text{ kg}$

$$F_K = \left( \frac{m_p}{4} + m_n \right) \cdot g = \left( \frac{43}{4} + 2,5 \right) \cdot 9,81 \cong \underline{\underline{130 \text{ N}}}$$

Podle podmínky rovnováhy vypočítám reakční síly  $R_A$  a  $R_B$ . (obr.9.3)



obr.9.3

Dáno:  $a = 17,8 \text{ mm}$ ,  $b = 58 \text{ mm}$ ,  $F_K = 130 \text{ N}$

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$F_K - R_A + R_B = 0 \Rightarrow R_A$$

$$R_A = F_K + R_B$$

$$R_A = F_K + R_B = 130 + 423,596$$

$$R_A \cong \underline{\underline{553,596 \text{ N}}}$$

$$\sum M_{iA} = 0$$

$$F_K \cdot a = R_B \cdot b \Rightarrow R_B$$

$$R_B = \frac{F_K \cdot a}{b} = \frac{130 \cdot 58}{17,8}$$

$$R_B \cong \underline{\underline{423,596 \text{ N}}}$$

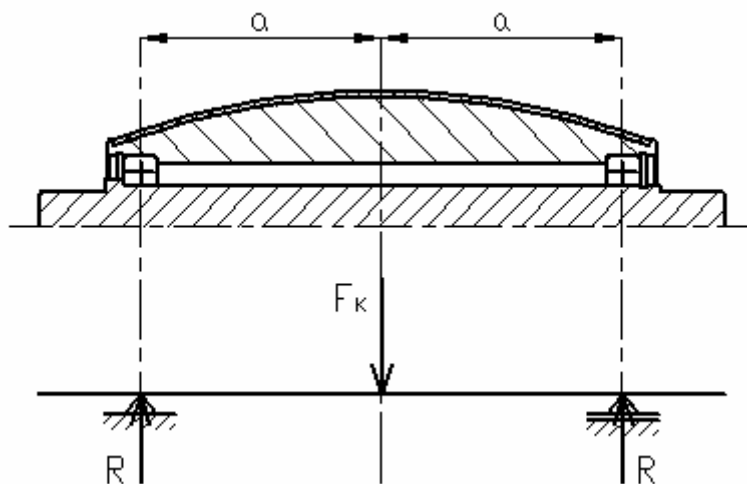
Minimální průměr osy A vypočítám podle vztahu (9.9).

Dáno:  $k_o = 1,4$ ,  $\sigma_{Dco} = 33 \text{ Mpa}$

$$d_o \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_K \cdot a}{\pi \cdot \sigma_{Dco}}} \cdot k_o = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 130 \cdot 58}{\pi \cdot 33}} \cdot 1,4 \cong \underline{\underline{18,55 \text{ mm}}} \Rightarrow \text{zvolil jsem } d_o = \underline{\underline{20 \text{ mm}}}$$

### 9.3.3 Řešení osy B

Z podmínek rovnováhy zjistím vztah reakční síly  $R$  k zatěžující síle  $F_K$  vypočtenou v předešlé kapitole. (obr.9.4)



obr.9.4

Vztah reakční síly  $R$ .

$$R = \frac{F_K}{2}$$

Dosazením reakční síly  $R$  místo síly  $F_K$  ve vzorci (9.10) vypočtu minimální průměr osy B.

$$d_o \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_K \cdot a}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{Do}}} \cdot k_o = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 130 \cdot 47,5}{2 \cdot \pi \cdot 60}} \cdot 1,4 \cong \underline{\underline{11,29mm}} \Rightarrow \text{zvolil jsem } d_o = \underline{\underline{12mm}}$$



## 9.4 Výpočet trvanlivosti ložisek

### 9.4.1 Teoretická část

Trvanlivost ložiska rozumíme vzdálenost v kilometrech při dané frekvenci otáčení, které ložisko vykoná, než se objeví první známky únavy materiálu (vydrolení) na valivých tělesech nebo oběžných drahách. [24]

Trvanlivost ložiska se vypočte podle vzorce (9.11).

$$L_{Km} = \left( \frac{p \cdot D}{1000} \right) \cdot \left( \frac{C}{E} \right)^p \quad (9.11)$$

kde  $L_{Km}$  - je základní trvanlivost

$D$  - je průměr kola

$C$  - je základní dynamická únosnost [25]

$p$  - je mocnitel [24]

$E$  - je ekvivalent dynamického zatížení ložiska

### 9.4.2 Řešení ložisek v ložiskovém domku

Zvolené ložisko. (tab.9.4) [14]

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| <b>ložisko</b>              | W 61804-2RS1 |
| základní dynamická únosnost | 3380 N       |

tab.9.4

Trvanlivost ložiska vypočítám podle vzorce (9.11), do kterého dosadím ekvivalentní dynamické zatížení ložiska o hodnotě reakční síly  $R_A$  vypočtenou v kapitole (9.3.2.)

Dáno:  $p=3$ ,  $C=3380\text{N}$ ,  $E=R_A=554\text{N}$ ,  $D=0,24\text{m}$

$$L_{Km} = \left( \frac{p \cdot D}{1000} \right) \cdot \left( \frac{C}{E} \right)^p = \left( \frac{3 \cdot 0,24}{1000} \right) \cdot \left( \frac{3380}{554} \right)^3 \cong \underline{\underline{0,164 \cdot 10^6 \text{ km}}}$$

### 9.4.3 Řešení ložisek ve všesměrovém kole

Zvolené ložisko. (tab.9.5) [14]

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| <b>ložisko</b>              | W 61801-2Z |
| základní dynamická únosnost | 1210 N     |

tab.9.5

Kontrolu ložiska vypočítám dosazením do vzorce (9.10) se zatěžující silou  $R$  uvedenou v kapitole (9.3.3.)

Dáno:  $p=3$ ,  $C=1210\text{N}$ ,  $E=R=65\text{N}$ ,  $D=0,041\text{m}$

$$L_{Km} = \left( \frac{p \cdot D}{1000} \right) \cdot \left( \frac{C}{E} \right)^p = \left( \frac{3 \cdot 0,041}{1000} \right) \cdot \left( \frac{1210}{65} \right)^3 \cong \underline{\underline{0,793 \cdot 10^6 \text{ km}}}$$

## 9.5 Funkční výpočet pohonů

### 9.5.1 Teoretická část

Při dimenzování pohonů pro podvozek se všesměrovými koly se vychází z metodiky návrhu u motorových vozidel. [1]

Hnací síla  $F_H$  se vypočte podle vzorce (9.12).

$$F_H = \frac{M_H \cdot i_1 \dots i_n \cdot \eta_1 \dots \eta_n}{r_k} \quad (9.12)$$

kde  $M_H$  - je hnací moment motoru

$i_1 \dots i_n$  - jsou převodové poměry

$\eta_1 \dots \eta_n$  - jsou účinnosti převodových poměrů

$r_k$  - je poloměr všesměrového kola

Potřebná hnací síla pro nakloněnou rovinu při zanedbání odporu vzduchu se vypočte součtem jízdních odporů (9.13), který se dále rozepíše do vzorce (9.17). Do tohoto vzorce dosadím vzorec (9.12) a upravím jej na vztah pro výpočet potřebného hnacího momentu  $M_H$  (9.18) a zrychlení  $a_r$  (9.19) [1]

$$F_H = O_f + O_s + O_z \quad (9.13)$$

kde  $O_f$  - je valivý odpor podle vzorce (9.14)

$O_s$  - je odpor stoupání podle vzorce (9.15) dle (obr.9.5 )

$O_z$  - je odpor zrychlení podle vzorce (9.16)

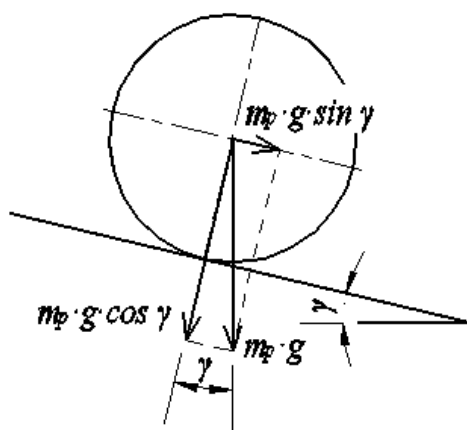
$$O_f = \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} \quad (9.14)$$

kde  $f_k$  - součinitel valivého odporu [1]

$m_p$  - je hmotnost mobilního podvozku

$\gamma$  - je úhel sklonu nakloněné roviny

$s$  - je počet všesměrových kol



obr.9.5

$$O_s = m_p \cdot g \cdot \sin \gamma \quad (9.15)$$

$$O_z = \mathcal{G} \cdot m_p \cdot a_r \quad (9.16)$$

kde  $\mathcal{G}$  - je součinitel vlivu rotačních částí. Pro můj případ volím  $\mathcal{G} = 1,5$ . [25]

$a_r$  -je zrychlení mobilního podvozku

$$F_H = \frac{1}{s_k} \cdot \left( \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} + m_p \cdot g \cdot \sin \gamma + \mathcal{G} \cdot m_p \cdot a_r \right) \quad (9.17)$$

kde  $s_k$  - je počet poháněných kol

$$M_H = \frac{\frac{1}{s_k} \cdot \left( \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} + m_p \cdot g \cdot \sin \gamma + \mathcal{G} \cdot m_p \cdot a_r \right) \cdot r_k}{i_1 \dots i_n \cdot \eta_1 \dots \eta_n} \quad (9.18)$$

$$a_r = \frac{\left( \frac{M_H \cdot i_1 \dots i_n \cdot \eta_1 \dots \eta_n}{r_k} \right) \cdot s_k - \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} - m_p \cdot g \cdot \sin \gamma}{\mathcal{G} \cdot m_p} \quad (9.19)$$

Otáčky na výstupu zvolené převodovky  $n_{př}$  se vypočítají podle vzorce (9.20)

$$n_{př} = \frac{n_{Mot}}{i_{př}} \quad (9.20)$$

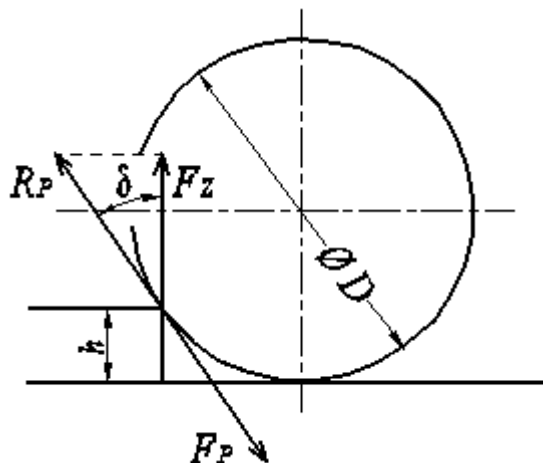
kde  $n_{Mot}$  - jsou otáčky motoru

$i_{př}$  - je převodový poměr převodovky

Rychlost pohybu mobilního podvozku se vypočítá podle vzorce (9.21).

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{př}}{60} \cdot 3,6 \quad (9.21)$$

Průměry všesměrových kol mobilního podvozku budou navrženy s ohledem na maximální výšku překážky kterou musí překonat. Na obrázku (obr.9.6) vidíme znázorněnou sílu  $F_Z$ , kterou kolo musí překonat z klidového stavu, aby překonalo překážku ve tvaru schodu o výšce  $h$ .



obr.9.6

Výpočet potřebné hnací síly  $F_P$  pro překonání překážky o výšce  $h$  (9.22)

$$F_P = \frac{2 \cdot i_1 \dots i_n \cdot \eta_1 \dots \eta_n \cdot M_{St}}{D} \quad (9.22)$$

kde  $M_{St}$  - je startovací moment motoru

Potřebná zvedací síla  $F_Z$  se vypočítá dle vzorce (9.23).

$$F_Z = R_P \cdot \cos \delta \quad (9.23)$$

kde  $R_P$  - je reakční síla síly  $F_P$  o stejné absolutní hodnotě

$\delta$  - je úhel, který svírají síly  $F_Z$  a  $R_P$

Vztah potřebný k překonání překážky o výšce  $h$  (9.24).

$$F_Z > F_K \quad (9.24)$$

kde  $F_K$  - je síla působící na jedno kolo vypočtená v kapitole (9.3.2.)

### 9.5.2 Řešení

Zvolené komponenty:

- motor (tab.9.6)
- převodovka (tab.9.7)
- převod čelních kuželových ozubených kol (tab.9.8)

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>převod kuželových kol</b> | P251916-16 |
| převodový poměr              | 1:1        |
| účinnost                     | 0,8        |

tab.9.6

|                   |        |
|-------------------|--------|
| <b>převodovka</b> | 203119 |
| převodový poměr   | 26:1   |
| účinnost          | 0,7    |

tab.9.7

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| <b>motor</b>      | 167177                  |
| jmenovitý moment  | 0,113 Nm                |
| jmenovité otáčky  | 10900 min <sup>-1</sup> |
| startovací moment | 1,34 Nm                 |
| max. otáčky       | 12000 min <sup>-1</sup> |

tab.9.8

#### *Výpočet rychlosti po rovině*

Ze vzorce (9.20) vypočítám maximální otáčky po rovině na výstupu převodovky.

Dáno:  $n_{Mot} = 10900 \text{ min}^{-1}$ ,  $i_{př} = 26$

$$n_{př} = \frac{n_{Mot}}{i_{př}} = \frac{10900}{26} \cong \underline{\underline{419,231 \text{ min}^{-1}}}$$

Ze vzorce (9.21) vypočítám maximální rychlost podvozku jedoucího po rovině

Dáno:  $D = 0,24 \text{ m}$ ,  $n_{př} = 419,2308 \text{ min}^{-1}$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{př}}{60} \cdot 3,6 = \frac{\pi \cdot 0,24 \cdot 419,231}{60} \cdot 3,6 = \underline{\underline{18,966 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

### Výpočet zrychlení po rovině

Ze vztahu (9.19) vypočtu zrychlení, které je podvozek schopen vyvinout.

Dáno:  $M_H = 0,113 Nm$ ,  $i_{př} = 26$ ,  $i_o = 1$ ,  $\eta_{př} = 0,7$ ,  $\eta_o = 0,8$ ,  $\gamma = 0^\circ$

$$a = \frac{\left( \frac{M_H \cdot i_{př} \cdot i_o \cdot \eta_{př} \cdot \eta_o}{r_k} \right) \cdot s_k - \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} - m_p \cdot g \cdot \sin \gamma}{\mathcal{G} \cdot m_p}$$

$$a = \frac{\left( \frac{0,113 \cdot 26 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,118} \right) \cdot 4 - \frac{0,03 \cdot 43 \cdot 9,81 \cdot \cos 0^\circ}{4} - 43 \cdot 9,81 \cdot \sin 0^\circ}{1,5 \cdot 43} = \underline{\underline{0,816 m \cdot s^{-2}}}$$

### Výpočet rychlosti po nakloněné rovině

Dosazením do vztahu (9.18) získám moment potřebný k překonání nakloněné roviny.

Dáno:  $s_k = 4$ ,  $f_k = 0,03$ ,  $m_p = 43 kg$ ,  $\gamma = 20^\circ$ ,  $\mathcal{G} = 1,5$ ,  $a_r = 0,3 m \cdot s^{-2}$ ,  $r_k = 0,118 m$

$i_{př} = 26$ ,  $i_o = 1$ ,  $\eta_{př} = 0,7$ ,  $\eta_o = 0,8$

$$M_H = \frac{\frac{1}{s_k} \cdot \left( \frac{f_k \cdot m_p \cdot g \cdot \cos \gamma}{s} + m_p \cdot g \cdot \sin \gamma + \mathcal{G} \cdot m_p \cdot a_r \right) \cdot r_k}{i_{př} \cdot i_o \cdot \eta_{př} \cdot \eta_o}$$

$$M_H = \frac{\frac{1}{4} \cdot \left( \frac{0,03 \cdot 43 \cdot 9,81 \cdot \cos 20^\circ}{4} + 43 \cdot 9,81 \cdot \sin 20^\circ + 1,5 \cdot 43 \cdot 0,3 \right) \cdot 0,118}{26 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,8} = \underline{\underline{0,338 Nm}}$$

$$M_H = 0,298 \Rightarrow n_{Mot} = 3000 \text{ min}^{-1} \quad [17]$$

$$n_{př} = \frac{n_{Mot}}{i_{př}} = \frac{3000}{26} \cong \underline{\underline{115,385 \text{ min}^{-1}}} \quad \text{dle vzorce (9.20)}$$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{př}}{60} \cdot 3,6 = \frac{\pi \cdot 0,24 \cdot 115,385}{60} \cdot 3,6 = \underline{\underline{5,22 km \cdot h^{-1}}} \quad \text{dle vzorce (9.21)}$$

**Výpočet potřebné síly  $F_P$  k překonání překážky** dle vzorce (9.22)

Dáno:  $i_{př} = 26$ ,  $i_o = 1$ ,  $\eta_{př} = 0,7$ ,  $\eta_o = 0,8$ ,  $M_{St} = 1,34 Nm$ ,  $D = 0,24 m$

$$F_P = \frac{2 \cdot i_{př} \cdot i_o \cdot \eta_{př} \cdot \eta_o \cdot M_{St}}{D} = \frac{2 \cdot 26 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,34}{0,24} \cong \underline{\underline{162,587 N}}$$

**Výpočet potřebné zvedací síly  $F_Z$**  dle vztahu (9.23)

Dáno:  $|R_p| = |F_P|$ ,  $\delta = 36^\circ$

$$F_Z = R_p \cdot \cos \delta = 162,587 \cdot \cos 36^\circ \cong \underline{\underline{131,536 N}}$$

**Kontrola** dle vztahu (9.24)

$$F_Z > F_K \rightarrow 131,536 N > 130 N \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



## 9.6 Výpočet teoretické doby provozu

### 9.6.1 Teoretická část

Existují dva způsoby zjištění doby provozu mobilního podvozku. První způsob je naměřit odebírané proudy použitých elektrických komponentů. A podle naměřených veličin vypočítat dobu provozu. Druhý způsob je vyzkoušení v praxi.

Zapojené akumulátory dodávají proud o hodnotě 36A a napětí o hodnotě 24V.

Teoretický elektrický odebíraný výkon se vypočte podle vzorce (9.25).

$$P_i = U_i \cdot I_i \quad (9.25)$$

kde  $P_i$  - je elektrický výkon odebíraný i-tým elektrickým komponentem

$U_i$  - je napětí i-tého komponentu

$I_i$  - je odebíraný elektrický proud i-tého komponentu

Pro zjištění doby provozu potřebujeme znát celkový odebíraný proud  $I_K$  odebíraný všemi elektrickými komponenty v podvozku, který vypočteme dle vzorce (9.26). Poté pomocí katalogu [27] zjistíme teoretickou dobu výdrží akumulátoru.

$$I_K = \frac{1}{s_A} \cdot \frac{s_M \cdot (P_M + P_{\tilde{R}}) + P_{PC} + P_W}{U_A} \quad (9.26)$$

kde  $s_A$  - počet akumulátorů

$s_M$  - počet motorů

$P_M$  - elektrický odebíraný výkon motoru

$P_{\tilde{R}}$  - elektrický výkon odebíraný řídicí jednotkou

$P_{PC}$  - elektrický výkon odebíraný PC [18]

$P_W$  - elektrický výkon odebíraný Wi-Fi kartou [18]

$U_A$  - napětí dodávané akumulátory

### 9.6.2 Řešení

**Elektrický výkon odebíraný motorem** dle vzorce (9.25)

Dáno:  $U_M = 18V$  ,  $I_M = 8,62A$

$$P_M = U_M \cdot I_M = 18 \cdot 8,62 = \underline{\underline{155,16W}}$$

**Elektrický výkon odebíraný řídicí jednotkou** dle vzorce (9.25)

Dáno:  $U_{\dot{R}} = 24V$  ,  $I_{\dot{R}} = 4,5A$

$$P_{\dot{R}} = U_{\dot{R}} \cdot I_{\dot{R}} = 24 \cdot 4,5 = \underline{\underline{108W}}$$

**Výpočet celkového odebíraného proudu** dle vzorce (9.26)

Dáno:  $s_A = 4ks$  ,  $s_M = 4ks$  ,  $P_M = 155,16W$  ,  $P_{\dot{R}} = 108W$  ,  $P_{PC} = 22W$  ,  $P_W = 0,1W$

$$U_A = 24V$$

$$I_K = \frac{1}{s_A} \cdot \frac{s_M \cdot (P_M + P_{\dot{R}}) + P_{PC} + P_W}{U_A} = \frac{1}{4} \cdot \frac{4 \cdot (155,16 + 108) + 22 + 0,1}{24} = \underline{\underline{11,195A}}$$

$11,195A \Rightarrow$  cca 55 minut při teplotě okolí 25 °C [16]

## 10 Závěr

Bakalářskou práci jsem vypracoval podle zásad uvedených v zadání.

Z důvodu malé kapacity akumulátorů jsem u vybrané varianty provedl konstrukční změnu jak v uložení použitých komponentů, tak v rozměrech rámu. Tyto změny neměly vliv na hodnoty kritérií při výběru optimální varianty.

Vnější rám jsem navrhl z hliníkových profilů značky Alutec, protože se na něj snadněji upevňují externí periférie. U ocelového rámu jsem provedl pevnostní analýzu, při které jsem zjistil maximální průhyb ve střední části rámu akumulátoru o hodnotě 0,03mm. Tento neovlivní průjezd přes požadovanou překážku. Krytí podvozku jsem navrhl ze sady krytů z materiálu PE1000, které jsou svými materiálovými vlastnostmi nejvhodnější pro zvolené prostředí aplikace podvozku v praxi. V návrhu jsem použil nerezová kuličková ložiska s těsněním, protože jsou nenáročná na údržbu, dobře snášejí vlhkost a nečistoty v prostředí. K napájení elektrických komponentů jsem využil čtyři olověné akumulátory značky Shimastu, kvůli jejich nízké ceně. Pohony s řídicími jednotkami, použité v návrhu podvozku, jsem vybral od firmy Maxon, protože mají široký sortiment doplňků. K přenosu kroutícího momentu mezi převodovkami a osami všesměrových kol jsem použil zakoupené převody s čelními kuželovými ozubenými koly z plastu. U nich jsem neprováděl pevnostní kontrolu z důvodu velkých rozměrů převodů a malých kroutících momentů. Při navrhování všesměrových kol jsem se nechal inspirovat konstrukcí kola Mecanum. Komunikace mezi mobilním podvozkem a uživatelem je zajištěna Wi-Fi kartou značky TP-LINK TL-WN322G a základní deskou VIA EPIA PX10000G s 4GB pamětí značky Kingston.

V této bakalářské práci jsem se nezabýval schématem zdroje pro zvolené elektrické komponenty. Dále jsem neřešil pevnostní výpočty rámu všesměrových kol a jeho valivých elementů, software a celkové náklady výroby podvozku.

## 11 Seznam použitých pramenů

- 1) KÁRNÍK, Ladislav. *MODELOVÁNÍ A ANALÝZA SERVISNÍCH ROBOTŮ*.  
[online]. © 2007, poslední revize 8.1.2007 [cit. 2009-6-5].  
URL: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/index.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm)>.
- 2) Kornylak Corporation. *Wheels* [online]. © 1998-2008 [cit. 2009-17-5].  
URL: <<http://www.kornylak.com/wheels/wheels.html>>.
- 3) PECA, Todd. *DIRECTIONAL COMPONENTS & INTEGRATED SYSTEMS*  
[online]. © 2008 [cit. 2009-17-5].  
URL: <[http://www.omnixtechnology.com/direct\\_components.html](http://www.omnixtechnology.com/direct_components.html)>.
- 4) HEE, Bjorn. *Innovative wheels* [online] © 1997-2005 [cit. 2009-17-5]  
URL: <[http://www.h33.dk/opfhjul\\_index.en.html](http://www.h33.dk/opfhjul_index.en.html)>.
- 5) Intelligent Robotics Lab., Korea Univ. *Robotic Systems* [online]. © [199?]  
[cit. 2009-17-5]. URL:  
<[http://robotics.korea.ac.kr/index.php?p=res&id=robotsys&sub\\_id=omnirobot](http://robotics.korea.ac.kr/index.php?p=res&id=robotsys&sub_id=omnirobot)>.
- 6) AIRTRAX. *Vehicles* [online]. [200-?] [cit. 5.5.2009]. URL:  
<<http://www.airtrax.com/>>.
- 7) SEGWAY. *Robotics Mobility Platform* [online]. © [200-?] [cit. 2009-17-5]. URL:  
<<http://www.segway.com/police-government/products-solutions/robotic-mobility-platform.php>>.
- 8) BRÄUNL, Thomas. *Omni-Directional Vehicles* [online]. © [200-?] [cit. 5.5.2009].  
URL: <<http://robotics.ee.uwa.edu.au/eyebot/doc/robots/omni.html>>.
- 9) *Trendy Car: Concept Car* [online]. © 2008 [cit. 2009-16-5].  
URL: <<http://trendycar.blogspot.com/search/label/Concept%20Car>>.
- 10) SKAŘUPA, Jiří; *Metodika konstruování*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 1993. 158s.  
Fakulta strojní. ISBN 80-7078-167-X
- 11) SATIN, Lukas. *ArcelorMittal Tubular Products Karvina a.s.* [online]. © 2008  
[cit. 2009-17-5]. URL: <<http://www.jakl.cz/index.html?module=jakl&op=katalog>>.
- 12) ALUTEC K&K, a.s. *katalog produktů* [online]. © 2005 [cit. 2009-17-5].  
URL: <<http://www.aluteckk.cz/katalog/katalog.html>>.
- 13) KUBEK, Ondřej. *Plastové součástky kovové součástky* [online]. © 2007  
[cit. 2009-17-5]. URL: <<http://www.plastovesoucastky.cz>>.

- 14) SKF GROUP. *Kuličková ložiska* [online]. ©21.3.2007 [cit. 2009-6-5]. URL: [http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=259672&lang=cs](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=259672&lang=cs).
- 15) SOVA NET, s.r.o. *Kuželová soukolí Plastová*. [online]. © [200-?] [cit. 2009-6-5]. URL: <http://www.teatechnik.cz/katalog/ozubeni-prevody/kuzelova-soukoli/plastova/>.
- 16) ČACKÝ, Přemysl. *CHEMIE, BATERIE*. [online]. © 2008 [cit. 2009-6-5]. URL: <http://www.gme.cz/cz/index.php?product=540-299>.
- 17) MAXON MOTOR AG. *High Precision Drives and Systems*. [online]. © 2006 [cit. 2009-6-5]. URL: <http://www.maxonmotor.com/>.
- 18) ADAMOVSKEÝ, Petr. *ALFACOMPUTER CZ, s.r.o.*. [online]. © 2004 [cit. 2009-5-4]. URL: <http://www.alfacomp.cz/php/index.php>.
- 19) AKASA. *FAN FILTER*. [online]. © [200?] [cit. 2009-3-4]. URL: <http://www.akasa.co.uk/>.
- 20) KALÁB, Květoslav. *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ PRO BAKALÁŘE : Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 2007. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8
- 21) LEINVEBER, Jan – VÁVRA, Pavel. *STROJNICKÉ TABULKY : Čtvrté doplněné vydání*. Úvaly: ALBRA, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7
- 22) KALÁB, Květoslav. *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ PRO BAKALÁŘE : Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3
- 23) KERN CORPORATE DESIGN TEAM. *Vlastnosti Polyamid 6 (PA6)*. [online]. ©2008 [cit. 2009-6-5]. URL: <http://www.lpm.cz/cgi-Bin/riweta.cgi?nr=1102&lng=1>.
- 24) ZKF GROUP. *Manuál konstruktéra*. [online]. ©[200-] [cit. 2009-6-5]. URL: <http://www.zkl.cz/czech/manual.asp?page=vypocty>.
- 25) VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. 456s. ISBN 80-238-5273-6

## 12 Přílohy

- výkres sestavy, ROB I, 1-MAZ112-0001, formát A1
- výkres podsestavy, RÁM OCELOVÝ, 2-MAZ112-0001.1, formát A2
- výkres podsestavy, RÁM ALUTEC, 2-MAZ112-0001.2, formát A2
- kusovník sestavy, K-4-MAZ112-0001 1/4-4/4, formát A4
- pevnostní analýza ocelového rámu
- 1x CD